



PATENT

Case Docket No. KAWAW31.001AUS

Date: January 9, 2003

RECEIVED
JAN 17 2003
TECHNOLOGY CENTER 2800

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

Applicant(s) : Tadakuma et al.

App. No. : 10/056,925

Filed : January 24, 2002

For : OPTICAL PULSE
GENERATOR

Group Art Unit : 2633

) I hereby certify that this correspondence and all
) marked attachments are being deposited with the
) United States Postal Service as first class mail in
) an envelope addressed to: United States Patent
) and Trademark Office, P.O. Box 2327, Arlington,
) VA 22202, on

January 9, 2003

(Date)

Thomas R. Arno, Reg. No. 40,490

TRANSMITTAL LETTER

UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE
P.O. Box 2327
Arlington, VA 22202

RECEIVED

JAN 15 2003

Technology Center 2600

Sir:

Transmitted herewith in the above-identified application:

(X) Certified copies of Japanese Application Nos:

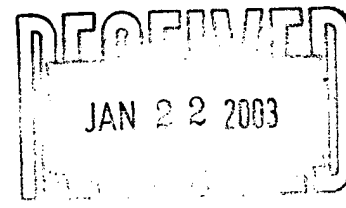
JP 2001-385094 filed December 18, 2001

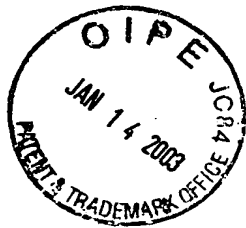
JP 2001-022221 filed January 30, 2001

(X) Return prepaid postcard.

(X) The Commissioner is hereby authorized to charge any additional fees which may be required, now or in the future, or credit any overpayment, to Account No. 11-1410.

Thomas R. Arno
Registration No. 40,490
Attorney of Record
Customer No. 20,995
(619) 235-8550





日本国特許庁 RECEIVED
JAPAN PATENT OFFICE

JAN 17 2003
TECHNOLOGY CENTER 2800

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office

出願年月日
Date of Application:

2001年12月18日

出願番号
Application Number:

特願2001-385094

[ST.10/C]:

[JP2001-385094]

出願人
Applicant(s):

古河電気工業株式会社

RECEIVED

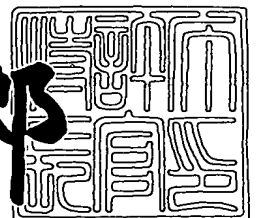
JAN 15 2003

Technology Center 2600

2002年12月17日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

太田信一郎



出証番号 出証特2002-3099875

【書類名】 特許願

【整理番号】 PFE2439

【提出日】 平成13年12月18日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 H04B 10/00

【発明者】

 【住所又は居所】 東京都千代田区丸の内2丁目6番1号 古河電気工業株式会社内

 【氏名】 忠隈 昌輝

【発明者】

 【住所又は居所】 東京都千代田区丸の内2丁目6番1号 古河電気工業株式会社内

 【氏名】 麻生 修

【発明者】

 【住所又は居所】 東京都千代田区丸の内2丁目6番1号 古河電気工業株式会社内

 【氏名】 松下 俊一

【発明者】

 【住所又は居所】 東京都千代田区丸の内2丁目6番1号 古河電気工業株式会社内

 【氏名】 坂野 操

【発明者】

 【住所又は居所】 東京都千代田区丸の内2丁目6番1号 古河電気工業株式会社内

 【氏名】 並木 周

【特許出願人】

 【識別番号】 000005290

 【氏名又は名称】 古河電気工業株式会社

【代理人】

【識別番号】 100090022

【弁理士】

【氏名又は名称】 長門 侃二

【電話番号】 03-3459-7521

【先の出願に基づく優先権主張】

【出願番号】 特願2001- 22221

【出願日】 平成13年 1月30日

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 007537

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 9721465

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 光パルス発生器

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 非線形光学係数と分散特性がそれぞれ異なる少なくとも 2 種類のファイバセグメントを接続して成る光ファイバ伝送路と、

第 1 の入出力ポートと第 2 の入出力ポート、および第 1 のループポートと第 2 のループポートを備えている光結合器とを有し、

前記光ファイバ伝送路の一方の端部と他方の端部は、それぞれ、前記第 1 のループポートと前記第 2 のループポートに接続されて、前記光ファイバ伝送路は光ファイバループを形成しており、

前記入出力ポートの一方に入力される入力パルスを前記光ファイバループを逆伝搬する 2 種類の光パルス成分に分割し、前記光結合器に帰還した前記 2 種類の光パルス成分のエネルギーを、それぞれの相対的な位相に応じて前記第 1 の入出力ポートと前記第 2 の入出力ポートの間に分割することを特徴とする光パルス発生器。

【請求項 2】 前記光ファイバ伝送路の少なくとも 1 箇所に、光パルスの強度を増幅させる光増幅器が少なくとも 1 個配置されている請求項 1 の光パルス発生器。

【請求項 3】 前記ファイバセグメントは、非線形光学係数が $5.0 \text{ W}^{-1} \text{ km}^{-1}$ 以上である高非線形光ファイバで形成されている請求項 1 または 2 の光パルス発生器。

【請求項 4】 前記光ファイバ伝送路および前記光結合器として、偏波保持光ファイバを用いる、請求項 1 ～ 3 のいずれかの光パルス発生器。

【請求項 5】 前記光結合器の出力ポートに、出力パルスのチャープを補償する光ファイバが接続されている請求項 1 ～ 4 のいずれかの光パルス発生器。

【請求項 6】 前記光結合器の入力ポートに強度変調光源が接続されている請求項 1 ～ 5 のいずれかの光パルス発生器。

【請求項 7】 前記光結合器の入力ポートに、非線形光学係数と分散特性がそれぞれ異なる少なくとも 2 種類のファイバセグメントを接続して成る光ファイバ伝

送路が接続されている請求項 1 ～ 6 のいずれかの光パルス発生器。

【発明の詳細な説明】

【 0 0 0 1 】

【発明の属する技術分野】

本発明は光パルス発生器に関し、更に詳しくは、光通信または光測定器などで使用される超短光パルスにおいて、入力されてくる時間幅が広い光パルスを極めて時間幅の狭い光パルスに変換し、しかも同時にノイズ成分を除去することができる光パルス発生器に関する。

【 0 0 0 2 】

【従来の技術】

情報通信分野の自由化と情報化社会の発展により、通信情報量は飛躍的に増大する傾向にある。そして、最近では、信号光を直接増幅する E r ドープファイバ増幅器 (Erbium-doped Fiber Amplifier : E D F A) が実用化されるに及んで、波長 1 5 5 0 nm 帯域では高強度の光信号が得られ、そのことにより、光伝送路である光ファイバにおける伝送損失が補償され、数千 km にも及ぶ無中継伝送が可能になっている。そして、この光増幅技術を利用して、波長分割多重 (Wavelength Division Multiplex : WDM) 通信方式や時分割多重 (Time Division Multiplex : TDM) 通信方式の研究が進められている。

【 0 0 0 3 】

これらの通信方式のうち、とくに、光ソリトン通信方式は、光ファイバが備える非線形性を積極的に利用することにより、大容量情報の長距離伝送が可能であり、次世代の TDM 通信方式として注目を集めている。

この光ソリトン通信方式は、光パルスが光ファイバの中を伝搬する際に、光パルスに対する非線形効果の影響と分散の影響が均衡することにより、当該光パルスはそのパルス波形を維持したまま伝搬するという特性を利用した通信方式である。

【 0 0 0 4 】

そして、この光ソリトン通信方式で伝送容量を増大させようとした場合には、パルス幅が狭く、また時間的に密なパルス列を光信号として伝送することが必要

となる。そのため、光信号のパルス幅をできるだけ圧縮することが要求され、同時に、伝送特性の劣化要因であるノイズ成分を除去することが要求される。

パルス幅の圧縮に関しては、ソリトンパルスの断熱圧縮効果を利用する方法をはじめとして、数多くの方法が提案されている (G.P.Agrawal, "Nonlinear Fibre Optics, 2ndED.", Academic Press, San Diego CA, U.S.A., 1995, chap.6などを参照)。

【 0 0 0 5 】

とくに、光ファイバの中を伝搬しているときに光パルスが受ける非線形効果と分散を利用した方法が多く研究されている。例えば、光ファイバとして分散減少ファイバを用いて光パルスの圧縮と整形を実現する方法 (S.V.Chernikov, J.R.Taylor, P.V.Mamyshev and E.M.Dianov, Electron. Lett., 28, 931(1992)を参照)、分散減少ファイバと分散増加ファイバを用いる方法 (A.V.Shipulin, D.G.Fursa, E.A.Golovchenko and E.M.Dianov, Electron. Lett., 29, 1401(1993)を参照)、分散特性の異なる光ファイバを階段状に接続して成る光ファイバ伝送路を用いる方法 (S.V.Chernikov, J.R.Taylor and R.Kashyap, Electron. Lett., 30, 433(1994)を参照)、通常の 1 3 0 0 nm ゼロ分散ファイバ (Standard Telecommunication Fiber : S T F) と 1 5 5 0 nm ゼロ分散ファイバ (Dispersion Shifted Fiber : D S F) とを交互に接続して構成した櫛形分散配置ファイバ (Comb-like Dispersion Profiled Fiber : C D P F) を用いてパルス幅がピコ秒 (p s) にまで圧縮された光パルスを発生させる方法 (S.V.Chernikov, J.R.Taylor and R.Kashyap, Electron. Lett., 29, 1788(1993)や、E.A.Swanson and S.R.Chinn, IEEE Photon. Technol. Lett., 7, 114(1995)などを参照) などをあげることができる。

【 0 0 0 6 】

しかしながら、上記した C D P F を用いて光パルス幅の圧縮を行うと、光ファイバの分散、有効断面積の不均一性、損失、高次分散の影響などの要因で、ソリトンパルスを形成する光以外の光成分 (線形分散波) が生じて、これがソリトン波形の裾になるペデスタル成分として現出する。そして、このペデスタル成分はノイズ成分であり、これは、例えば圧縮された光パルスを超高速時間多重伝送シ

システムに使用した場合、符号間干渉を引き起こす要因として作用し、システムの伝送符号誤り率を劣化させてしまう。したがって、CDPFを用いた場合の光パルスの圧縮化に関しては、上記したようなノイズ成分を除去することが同時に必要となる。

【 0 0 0 7 】

光パルスからのノイズ除去方法としては、光ファイバの非線形性を利用した非線形光学ループミラー (Nonlinear Optical Loop Mirror: NOLM)、およびそれと関連する非線形増幅ループミラー (Nonlinear Amplified Loop Mirror: NALM) を用いた方法が有効である。

NOLMを用いた一般的な方法は、N.J.DoranおよびD.Woodによる“Nonlinear Optical Loop Mirror” (Optical Letters, vol.13, No.1, 56~58頁, 1988年1月) に記載されている。

【 0 0 0 8 】

ここで、N.J.Doranらによって示されたNOLMとその動作原理について以下に説明する。

このNOLMは、図18で示したように、光結合器1と、光ファイバループ2と、この光ファイバループ2に配置された偏波コントローラ3とで構成されている。光結合器1は、その光分岐比が $\alpha : 1 - \alpha$ のものであり、4個のポート1a, 1b, 1c, 1dを備え、そのうち、ポート1aは入力する光パルスの入力線路と接続されて入力ポートになっており、ポート1bはこのNOLMで処理された光パルスの出力線路と接続されて出力ポートになっている。

【 0 0 0 9 】

また、光結合器1のポート1cは光ファイバループ2の一方の端部2aと接続され、ポート1dは光ファイバループ2の他方の端部2bと接続されている。

このNOLMの入力ポート1aに光パルスが入力すると、その光パルスは、光結合器1によって、ポート1cから光ファイバループ2に入力して図18で示した時計回り (cw方向) に伝搬するパルス成分と、ポート1dから光ファイバループ2に入力して図18で示した反時計回り (ccw方向) に伝搬するパルス成分に、 $\alpha : 1 - \alpha$ の分岐比で分割されるが、これらのパルス成分は、光結合器1

に帰還するときの位相に応じて、光ファイバループ2を透過しポート1bから出力されるパルス成分と光ファイバループ2で反射されポート1aから出力される成分とになる。

【0010】

すなわち、光ファイバループ2での非対称的な非線形効果に基づく位相シフトがこれらパルス成分に及ぶ場合には、これらパルス成分は光結合器1で合波され、その結果、光結合器1では、高強度のパルス成分は光ファイバループを透過してポート1bから出力され、低強度のノイズ成分は光ファイバループ2で反射されポート1aから出力されて、ノイズ除去を実現することができる。

【0011】

また、一般的なNALMに関しては、M.Fermannらによる“Nonlinear Optical Loop Mirror” (Optical Letters, vol.15, No.13, 752~754頁, 1990年7月)に記載されている。

このNALMは、図19で示したように、図18のNOLMの光ファイバループ2の一端に、EDFA4を配置したものである。このNALMは、NOLMに比べて3~4桁低い強度(数十mW~数mW)で光パルスをスイッチングすることができるという特徴を有している。

【0012】

【発明が解決しようとする課題】

上記したように、光ファイバを用いて光ファイバの時間幅を圧縮し、そしてそれにNOLMやNALMを組み合わせることによりノイズ成分が少なくパルス幅が狭い光パルスを発生させることは、従来からも実施されている。

しかしながら、その従来技術は、2種の要素技術を組み合わせるものであり、パルス幅の圧縮とノイズ低減を1つの光デバイスで同時に実現することは困難であった。

【0013】

本発明は、上記したような問題を解決し、パルス幅を圧縮すると同時にノイズ成分を除去して、伝送に最適な特性を有する光パルスを発生させることができる光パルス発生器の提供を目的とする。

【 0 0 1 4 】

【課題を解決するための手段】

上記した目的を達成するために、本発明においては、

非線形光学係数と分散特性がそれぞれ異なる少なくとも2種類のファイバセグメントを接続して成る光ファイバ伝送路と、

第1の入出力ポートと第2の入出力ポート、および第1のループポートと第2のループポートを備えている光結合器とを有し、

前記光ファイバ伝送路の一方の端部と他方の端部は、それぞれ、前記第1のループポートと前記第2のループポートに接続されて、前記光ファイバ伝送路は光ファイバループを形成しており、

前記入出力ポートの一方に入力される入力パルスを実記光ファイバループを逆伝搬する2種類の光パルス成分に分割し、前記光結合器に帰還した前記2種類の光パルス成分のエネルギーを、それぞれの相対的な位相に応じて前記第1の入出力ポートと前記第2の入出力ポートの間に分割することを特徴とする光パルス発生器が提供される。これを光パルス発生器 A_0 とする。

【 0 0 1 5 】

好適には、前記光ファイバ伝送路の少なくとも1箇所に、光パルスの強度を増幅させる光増幅器が少なくとも1個配置されている光パルス発生器（これを光パルス発生器 A_1 とする）、前記ファイバセグメントは、非線形光学係数が $5.0\text{ W}^{-1}\text{ km}^{-1}$ 以上である高非線形光ファイバで形成されている光パルス発生器（これを光パルス発生器 A_2 とする）、前記光ファイバ伝送路および前記光結合器として、偏波保持光ファイバを用いるパルス発生器（これを光パルス発生器 A_3 とする）、

前記光結合器の出力ポートに出力パルスのチャープを補償する光ファイバが接続されている光パルス発生器（これを光パルス発生器 A_4 とする）、

前記光結合器の入力ポートに強度変調光源が接続されている光パルス発生器（これを光パルス発生器 A_5 とする）、

前記光結合器の入力ポートに、非線形光学係数と分散特性がそれぞれ異なる少なくとも2種類のファイバセグメントを接続して成る光ファイバ伝送路が接続さ

れている光パルス発生器（これを光パルス発生器 A_0 とする）が提供される。

【 0 0 1 6 】

【発明の実施の形態】

図 1 に、本発明の光パルス発生器の基本構成の 1 例 A_0 を示す。

この光パルス発生器 A_0 は、入力パルスが入力する第 1 の入出力ポート 1 a（以下、入力ポートという）、出力パルスが出力する第 2 の入出力ポート 1 b（以下、出力ポートという）、後述する光ファイバ伝送路 2 の一方の端部 2 a と接続する第 1 のループポート 1 c、および光ファイバ伝送路 2 の他方の端部 2 b と接続する第 2 のループポート 1 d を備えている光結合器 1 と、前記したループポート 1 c、1 d の間でループをなす光ファイバ伝送路（以下、光ファイバループという）2 で構成されている。

【 0 0 1 7 】

ここで、光ファイバループ 2 は、非線形光学係数と分散特性がそれぞれ異なる光ファイバを交互に接続して、8 個のファイバセグメント 2 A ~ 2 H から成る光ファイバ伝送路になっている。

そして、この光パルス発生器 A_0 の場合、入力ポート 1 a に入力した光パルスは、光結合器 1 で 2 つのパルス成分に分岐比 $\alpha : 1 - \alpha$ で分割され、一方のパルス成分は第 1 のループポート 1 c から光ファイバループ 2 内を c w 方向に伝搬し、他方のパルス成分は第 2 のループポート 1 d から光ファイバループ 2 内を c c w 方向に伝搬し、両者は光結合器 1 で合波する。この合波されるパルス成分の偏波状態を一致させるために、光ファイバループ 2 には偏波コントローラ 3、3 が配置されている。

【 0 0 1 8 】

ここで、上記した光パルス発生器 A_0 の挙動に関する説明に先立ち、C D P F で構成されている光ファイバループ 2 について説明する。

図 2 は、図 1 の光ファイバループ 2 の C D P F の構成を示す。具体的には、ファイバセグメント 2 A、2 C、2 E、2 G は前記した 1 5 5 0 nm 帯域ゼロ分散ファイバ（DSF）から成り、ファイバセグメント 2 B、2 D、2 F、2 H は同じく前記した 1 3 0 0 nm 帯域ゼロ分散ファイバ（SMF）で形成されている。その

場合のDSFとSMFの分散は図2で示したとおり互いに異っており、また、各ファイバセグメントの長さも図2で例示したよう互いに異なっている。

【0019】

ここで、波長が異なる2個のレーザ光を重ね合わせた波長1550nmのビート光が第1のループポート1cから図2のCDPFに入力してcw方向に伝搬していく場合を考える。その場合には、ファイバセグメント2A, 2C, 2E, 2Gを構成するDSF内で生ずる非線形効果とファイバセグメント2B, 2D, 2F, 2Hを構成するSMF内でのチャープ補償が光パルスのパルス幅を圧縮する要因として作用する。

【0020】

DSF内での非線形効果を特定することは困難であるため、ここでは定性的に考察する。

まず、1段目のファイバセグメント2Aでは、入力した2波長の光パルス間での四光波混合により、透過後の波長スペクトルには側帯波が生成し、そのことによってチャープが生ずる。ついで、2段目のファイバセグメント2Bでは、上記光パルスに異常分散効果が作用して、パルスの立ち上がり部と立ち下がり部のチャープが補償されることにより、そのパルス幅は狭くなる。

【0021】

ファイバセグメント2Bから出力した光パルスは、3段目のファイバセグメント2Cに入力するが、その場合、パルス幅が圧縮されたその光パルスは光出力のピーク値が高くなっている。

そのため、3段目のファイバセグメント2Cでは、自己位相変調(SPM)が要因となる非線形効果が入力した上記光パルスに作用し、パルスの立ち上がり部ではダウンチャープ、パルスの立ち下がり部ではアップチャープがそれぞれ発生し、その波長スペクトルは広帯域化する。

【0022】

そして、4段目のファイバセグメント2Dでは、上記したチャープが補償されてパルス幅の圧縮が進む。

したがって、図2のCDPFを伝搬していく光パルスには、それ以後のファイ

バセグメントにおいて上記した作用効果が交互にかつ順次付与されることにより、光パルスは順次そのパルス幅が狭くなっていく。

【0023】

なお、図2のCDPFにccw方向で光パルスが伝搬する場合も、その光パルスは各ファイバセグメントを透過する過程で上記したと同様の非線形効果と分散効果を受ける。しかしながらCDPFの構成はその入出力端に対して非対称になっているので、cw方向かccw方向かで、伝搬する光パルスの変化のし方が異なり、最終的に出力されてくる光パルスの圧縮率が異なることになる。

【0024】

このように、図1で示した光パルス発生器A₀の場合、光ファイバループ2をcw方向に周回して第2のループポート1dに帰還するパルス成分、光ファイバループ2をccw方向に周回して第1のループポート1cに帰還するパルス成分は、周回の過程で受ける非線形効果により位相変化を生ずる。

そこで、この位相変化について検討し、その位相変化に応じた光結合器でのパルス成分のエネルギー分割問題について説明する。

【0025】

今、第1のループポート1cからcw方向で光ファイバループ2を周回するパルス成分が受ける非線形位相変化を ϕ_{cw} 、第2のループポート1dからccw方向で光ファイバループ2を周回するパルス成分が受ける非線形位相変化を ϕ_{ccw} とする。

一般に、図2で示した8個のファイバセグメントから成るCDPF内を伝搬する光が受ける非線形位相シフトは、次式：

【0026】

【数1】

$$\phi_{cw} = \sum_{i=1}^8 \gamma_i I_i c w_i L_i \quad \dots (1)$$

【0027】

【数 2】

$$\phi_{ccw} = \sum_{i=1}^8 \gamma_i I_{icwi} L_i \quad \cdots (2)$$

【0 0 2 8】

(式中、 γ_i は*i*番目のファイバセグメントの非線形光学係数、 I_i は*i*番目のファイバセグメントに入力する光の光強度、 L_i は*i*番目のファイバセグメントの長さを表す。ここで、 $\gamma_i = 2\pi n_2 / A_{eff} \cdot \lambda$ (n_2 : 非線形屈折率、 A_{eff} : 有効断面積、 λ : 波長) である。)

で示される。

【0 0 2 9】

式(1)と式(2)を対比すると、各ファイバセグメントへの2つのパルス成分の光強度(I_{cwi} , I_{ccwi})は異なるため、2つのパルス成分がCDPF内で受ける非線形位相シフトの総量(ϕ_{cw} , ϕ_{ccw})は異なった値になることがわかる。

上記したように異なった値の非線形位相シフトを受けた2つのパルス成分が第2のループポート1dと第1のループポート1cにそれぞれ帰還して光結合器1による光結合作用を受けた場合、入力ポート1aにおける入力電場と、出力ポートであるループポート1cおよびループポート1dにおける出力電場との関係は、2つの接近した導波路のモード間の相互作用による電力エネルギーの授受を表現したモード結合方程式で示される(P.Franco, M.Midrio, A.Tozzato, M.Romagnol and F.Fontana, "Characterization and optimization criteria for filterless erbium-doped fiber lasers", J.Opt. Soc. Am. B 11, No.6, 1090(1994)、および、C.R.Giles and Di.Giovanni, "Spectral Dependence of Gain and Noise in erbium-doped Fiber Amplifier", IEEE Photon. Tech. Lett., 2, No.11, 797(1990)を参照)。

【0 0 3 0】

それによると、一方の導波路から他方の導波路に結合する電場は、当初の電場の場合に比べて位相が $\pi/2$ だけずれた値になる。

したがって、光結合器1において、入力ポート1aから入力した光パルスがパ

ルス成分となって第1のループポート1cと第2のループポート1dに出力するときの各パルス成分による出力電場は次のようになる。

【0031】

すなわち、ccw方向を周回してきたパルス成分によるループポート1cにおける出力電場を E_{1c} 、cw方向を周回してきたパルス成分によるループポート1dにおける出力電場を E_{1d} とし、入力ポート1aにおける光パルスによる入力電場を E_{in} とすると、

$$E_{1c} = \alpha^{1/2} \cdot E_{in} \quad \dots (3)$$

$$E_{1d} = i(1 - \alpha)^{1/2} \cdot E_{in} \quad \dots (4)$$

(ただし、 α は光結合器の分岐比、 i は虚数を表す)

で示される。

【0032】

光ファイバループ2を周回する過程では、各パルス成分は前記した非線形位相シフトを受けているので、結局、 E_{1c} 、 E_{1d} は、次式：

$$E_{1c} = \alpha^{1/2} \cdot E_{in} \exp(i\phi_{cw}) \quad \dots (5)$$

$$E_{1d} = i(1 - \alpha)^{1/2} \cdot E_{in} \exp(i\phi_{ccw}) \quad \dots (6)$$

で示される。

【0033】

そして、出力ポート1bからの出力パルスによる強度 I_{out} は、式(3)、式(4)を用いることにより、次式：

$$\begin{aligned} I_{out} &= |E_{out}|^2 \\ &= |E_{in}|^2 [1 - 2\alpha(1 - \alpha)\{1 + \cos(\phi_{ccw} - \phi_{cw})\}] \\ &= I_{in} [1 - 2\alpha(1 - \alpha)\{1 + \cos(\phi_{ccw} - \phi_{cw})\}] \quad \dots (7) \end{aligned}$$

で示される。

【0034】

ここで、出力パルスと入力パルスの強度比と、非線形位相シフト量の差($\Delta\phi = \phi_{ccw} - \phi_{cw}$)との関係を、光結合器1の分岐比(α)を変化させた場合について、図3に示す。

図3から明らかなように、出力ポート1bから入力した入力パルスの強度に対

して強度100%の光パルスが出力するのは、 $\Delta\phi$ が $m\pi$ (m は奇数)になっているときである。

【0035】

($\phi_{ccw} - \phi_{cw}$) 値である上記した $\Delta\phi$ は式(1)と式(2)で示されているように光強度に依存している。したがって、出力ポート1bから出力してくる出力パルスのうちその光強度が最大となるように上記した条件、すなわち、入力ポート1aへの光パルスの強度(I_i)、光結合器1の分岐比 α 、光ファイバループ2の各ファイバセグメントに用いる光ファイバの種類と長さ(L_i)などを最適に設定すれば、そのとき、光パルスの光強度が強い中心のパルス成分が出力ポート1bから出力パルスとして出力しており、光パルスの裾野にあって光強度が弱いノイズ成分は入力ポート1aに分離されていることになる。

【0036】

換言すれば、図1の光パルス発生器 A_0 の出力ポート1bから出力する出力パルスは、光ファイバループ(CDPF)2でパルス幅の圧縮が実現していると同時に、ノイズ成分も除去された光パルスになっているのである。

例えば、光パルス発生器 A_0 の入力ポート1aに、図4で示したような自己相関波形を有する光パルスを入力すると、出力ポート1bから出力する光パルスの自己相関波形は図5で示したようになる。

【0037】

すなわち、光パルス発生器 A_0 からの出力パルスは、入力パルスのパルス幅が圧縮されて狭くなっていると同時に、入力パルスにおける裾野のノイズ成分は除去されている。

このように、光パルス発生器 A_0 の場合、特殊な分散構造を有する光ファイバ(例えば光伝搬方向に分散が減少していく分散減少ファイバ)を使用しなくてもパルス幅の圧縮とノイズ成分の除去という目的を達成することができ、また光ファイバの組合せに関しても、それら光ファイバの有する分散特性や入力する光パルスの条件(例えば強度、パルス幅、パルス周期など)との関係でファイバ長を調整して対応することができる。

【0038】

図 6 は、本発明の光パルス発生器の別の例 A_1 を示す。

この光パルス発生器 A_1 は、光ファイバループ 2 におけるファイバセグメント 2 B とファイバセグメント 2 C の間に光増幅器 5 を配置したものである。

光増幅器 5 としては例えば E D F A を用いることができ、この場合、1 5 5 0 nm 帯域の光パルスが増幅される。

【 0 0 3 9 】

光増幅器 5 が図 6 で示した箇所に配置されている光ファイバループ 2 においても、c w 方向と c c w 方向にそれぞれ伝搬するパルス成分が受ける非線形位相シフトは、図 2 の場合と同様に、式 (1) または式 (2) で示されるが、c w 方向に伝搬し、光増幅器 5 を透過したのちにファイバセグメント 2 C に入力するパルス成分の光強度 (I_{cw_3}) は大きくなり、また、c c w 方向に伝搬し、光増幅器 5 を透過したのちにファイバセグメント 2 B に入力するパルス成分の光強度 (I_{ccw_2}) も大きな値になる。そして、この場合にあっても、光結合器 1 の出力ポート 1 b からの出力電場 (E_{out}) は式 (7) で示される。

【 0 0 4 0 】

したがって、入力ポート 1 a への入力パルスの強度、光結合器 1 の分岐比 (α)、各ファイバセグメント 2 A ~ 2 H に用いる光ファイバの種類とそのファイバ長を適切に調整し、更にこの場合は、配置する光増幅器 5 の配置個所と増幅強度を適切に調整して、出力ポート 1 b からの出力パルスの出力電場を最大にすれば、その出力パルスは、パルス幅が圧縮され、同時にノイズ成分が除去されたものになっている。

【 0 0 4 1 】

つぎに、本発明の光パルス発生器 A_2 は、図 1 で示した光パルス発生器 A_0 や図 6 で示した光パルス発生器 A_1 において、光ファイバループ 2 を構成している 1 5 5 0 nm 帯域ゼロ分散 D S F に代えて、例えば、表 1 で示す特性を有する高非線形光ファイバを用いたものである。

【 0 0 4 2 】

【表 1】

特性項目	値
伝送損失	0.61 dB/km
ゼロ分散波長 (λ_0)	1565.5 nm
分散スロープ	0.029 ps/nm ² /km
非線形光学係数 (γ)	13.8 W ⁻¹ km ⁻¹

【0043】

通常の1550nm帯域ゼロ分散DSFの γ 値は2.5 W⁻¹km⁻¹程度であるが、上記した高非線形光ファイバの γ 値は5倍程度大きくなっている。

したがって、この光パルス発生器A₂の場合、このような高非線形光ファイバをファイバセグメント2A, 2C, 2E, 2Gとして用いることにより、通常の光ファイバを用いたときに比べてそのファイバ長を短くしても、必要な非線形効果を光パルスに与えることができる。

【0044】

このように、高非線形光ファイバを用いて全体のファイバ長を短くすると、光ファイバループ2全体の長さを短くすることができ、そのことにより伝搬する光パルスの偏波状態の変動が小さくなり、また伝送損失も少なくなるという効果が得られる。

また、本発明では、上記した各光パルス発生器において、光ファイバループ2と光結合器1、更には光増幅器5を偏波保持光ファイバで構成することにより、光パルス発生器A₃が提供される。

【0045】

既に説明した光パルス発生器A₀, A₁, A₂の場合、光ファイバループ2、光結合器1、光増幅器5を、いずれも、偏波状態を保持しない光ファイバで構成していた。しかしながら、このような構成の場合には、光ファイバ内での偏波状態が変動するため、cw方向とccw方向に周回したパルス成分が光結合器1で結合するときに、2つのパルス成分の偏波状態が異なっているため、出力ポート1bからの出力パルスの出力強度が変動するという問題が発生する。このような問題の発生を補償するために、上記した各光パルス発生器の場合には、光ファイバ

ループ 2 に偏波コントローラ 3 を配置することにより、逆方向に周回する 2 つの
パルス成分の偏波状態を一致させていたのである。

【 0 0 4 6 】

光パルス発生器 A_3 の場合には、光ファイバループ 2 のファイバセグメント 2
A ~ 2 H、光結合器 1、また光増幅器 5 の全てを偏波保持光ファイバで構成して
いるので、光ファイバループに偏波コントローラ 3 を配置しなくても、入力ポー
ト 1 a から入力した入力パルスの偏波状態は全伝送路の過程で一定に保持される
。その結果、この光パルス発生器 A_3 の場合、偏波コントローラを配置しないに
もかわらず、光結合器 1 におけるパルス成分のモード結合が効果的に実現する
。

【 0 0 4 7 】

図 7 は、本発明の光パルス発生器の他の例 A_4 を示す。

この光パルス発生器 A_4 は、チャープ補償光ファイバ 6 を光結合器 1 の出力ポー
ト 1 b に接続したものである。

出力ポート 1 b から出力する光パルスにはチャープが伴っている場合もあるが
、そのような場合であっても、この光パルス発生器 A_4 は、上記チャープ補償光
ファイバ 6 でチャープが補償されるので、パルス幅が圧縮された光パルスを得る
ことができる。

【 0 0 4 8 】

図 8 は、本発明の光パルス発生器の別の例 A_5 を示す。

この光パルス発生器 A_5 は、既に説明した光パルス発生器の入力ポート 1 a の
上流側に強度変調光源 7 を接続したものである。

具体的には、この強度変調光源 7 は、2 個の波長可変光源 7 a、7 b と光結合
器 7 c と光増幅器 7 d で構成されている。

【 0 0 4 9 】

この光パルス発生器 A_5 では、波長可変光源 7 a、7 b から発振する異なる 2
つの光パルスは、光結合器 7 c で合波されてビート光になり、そしてこのビート
光は光増幅器 7 d で強度増幅されて入力ポート 1 a に入力する。なお、この強度
変調光源 7 と入力ポート 1 b の間には光アイソレータ 8 が配置されていて、光フ

ファイバループ 2 からの戻り光が除去される。

【 0 0 5 0 】

ここで、図 9 は、上記した強度変調光源 7 で生成したビート光の自己相関波形の 1 例を示す。すなわち、中心波長は 1 5 6 5 nm で、波長が約 0 . 8 nm 異なる 2 つの光パルスで波長可変光源 7 a , 7 b で発振させ、これらを光結合器 7 b で合波して得られたパルス周期が約 1 0 0 GHz のビート光の自己相関波長である。

図 1 0 は、上記したビート光を入力パルスとしたときに、光パルス発生器 A_5 の出力ポート 1 b から出力する光パルスの自己相関波形を示す。

【 0 0 5 1 】

図 9、図 1 0 から明らかなように、この光パルス発生器 A_5 からは、パルス幅が圧縮され、かつ裾野のノイズ成分が除去された光パルスが得られている。

図 1 1 は、光パルス発生器 A_5 において、強度変調光源 7 が異なっている変形例 A_5' を示す。

この光パルス発生器 A_5' では、強度変調光源 7 が、波長可変光源 7 a と、それに接続された強度変調器 7 e と、更にそれに接続された電気信号発生器 7 f と、前記強度変調器 7 e に接続された光増幅器 8 で構成されている。そして、この強度変調光源 7 と入力ポート 1 a の間に光アイソレータ 8 が介装されていることは光パルス発生器 A_5 の場合と同じである。

【 0 0 5 2 】

この光パルス発生器 A_5' の場合、波長可変光源 7 a からの所定波長の光パルスは、電気信号発生器 7 f からの変調信号が印加されている強度変調器 7 e で変調され、ついで光増幅器 7 d で強度増幅されたのち、入力ポート 1 a に入力することになる。

図 1 2 は、本発明の光パルス発生器の他の実施例 A_0' を示す。

【 0 0 5 3 】

光パルス発生器 A_0 におけるファイバループ 2 との相違は、光結合器 1 x が偏波保持特性を持つ点、光結合器 1 の入力する光パルスの偏光状態を最適な偏光状態に調整する偏波コントローラ 3 a を入力ポート 1 a の前に配置した点にある。なお、ファイバループ 2 は、光パルス発生器 A_0 の場合と同様に、各ファイバセ

グメント 2 A ~ 2 H により構成されている。またこの場合、光パルス発生器 A_0 で配置したファイバループ 2 内の偏波コントローラ 3 は不要になる。

【 0 0 5 4 】

なお、先に示した図 6、図 7、図 8、図 1 1、また、後述する図 1 4 の実施例は、光パルス発生器を構成する全ての光部品が偏波保持特性を有している。

例えば図 1 3 で示した強度変調光源 7 を有する他の実施例 A_5'' では、偏波保持構成を実現することができる。図 1 5 で示したこの光パルス発生器 A_5'' では、偏波保持構成を実現することができる。図 1 5 で示したこの光パルス発生器 A_5'' の場合、2 つの光源 7 k、7 l は定偏波出力特性を有している。このような光源として波長可変光源や DFB-LD などが考えられる。その 2 つの光は、互いの偏波状態が一致するように光結合器 7 c で合波される。そして、そこで発生したビート変調光は図 6 と同様な過程で短パルスとなって出力されるが、全ての構成部品において、伝搬する光パルスの偏波状態が維持される。そのため、この光パルス発生器 A_5'' では、偏波制御機能は不要となる。

【 0 0 5 5 】

なお、図 1 3 の光パルス発生器 A_5'' では、 $1.55 \mu\text{m}$ 帯ゼロ分散光ファイバ 7 h、7 j と、 $1.3 \mu\text{m}$ 帯ゼロ分散光ファイバ 7 i を配置し、光パルスがファイバループ 2 に伝播される前にパルス圧縮効果を引き起こせるようになっている。

図 1 4 は、本発明の光パルス発生器の別の例 A_6 を示す。

【 0 0 5 6 】

この光パルス発生器 A_6 は、強度変調光源 7 が、波長可変光源 7 a、7 b と光結合器 7 c と光増幅器 7 d、光アイソレータ 8、DSF による光ファイバセグメント 9 A、9 C および SMF による光ファイバセグメント 9 B の 3 つのセグメントから成る CDPF で構成されている。また光ファイバループ 2 が 3 つのファイバセグメント 2 A、2 B、2 C から構成されている。ここで光ファイバループ 2 は 2 A と 2 C の 2 つのセグメントが SMF で、2 B が DSF で構成されている。

【 0 0 5 7 】

この光パルス発生器 A_6 では、波長可変光源 7 a、7 b から発振する異なる 2

つの光が、光結合器 7 c で合波されてビート光になる。そしてこのビート光は、光増幅器 7 d で強度増幅され、光アイソレータ 8 を通過したのち、DSF セグメント 9 A、SMF セグメント 9 B、そして DSF セグメント 9 A と同様な特性を有する DSF セグメント 9 C の順に透過し、入力ポート 1 a に入力する。

【 0 0 5 8 】

このとき、光増幅器 7 d により強度増幅されたビート光は、セグメント 9 A、9 B、9 C で構成された CDPF 構造のファイバ伝送路を伝搬する。ビート光は、セグメント 9 A とセグメント 9 B の組み合わせによりパルス幅が圧縮され、更にセグメント 9 C により非線形効果を受けたのち、ファイバループ 2 内に入力される。ファイバループ 2 内でも 2 A および 2 C が SMF であり、その間に DSF (2 B) が位置していることから、図 1 3 に示したように、ゼロ分散光ファイバ 7 h からゼロ分散光ファイバ 7 j までの過程で生起する CDPF によるパルス圧縮効果がファイバループ 2 内でも引き続いて起こり、パルスは圧縮される。

【 0 0 5 9 】

すなわち、CDPF で構成されたファイバループ 2 の入力ポートに、ファイバループ 2 内のセグメントの分散配置と連続するように、CDPF 構造の光ファイバ伝送路を伴う強度変調光源を配置することにより光パルスの圧縮効果を高めることができる。

このように、光パルス発生器 A_6 の場合、入力ポートの前に、DSF ファイバセグメント 9 A、9 C と SMF ファイバセグメント 9 B で構成される CDPF による光ファイバ伝送路 9 を構築することにより、光パルスがファイバループ 2 内に伝播される前にもパルス圧縮過程を行うことができるので、更にノイズ低減を実現することができる。

【 0 0 6 0 】

図 1 5 は、光パルス発生器 A_6 におけるセグメント 9 C から出力され入力ポート 1 a に入力するパルス波形を示し、図 1 6 は出力ポート 1 b からの出力パルスの波形を示す。入力パルスと出力パルスのパルス幅を比較すると、入力パルスで 1.369 ps であったものが、出力パルスにおいては 380 ps であり、36 分の 1 に圧縮されていることがわかる。

【 0 0 6 1 】

図 1 7 は、光パルス発生器 A_6 において、ファイバループ内をファイバセグメント 2 A、2 B、2 C の順に周回する（図 1 4 において c w 回りの周回を行う）パルスがファイバセグメント 2 C から出力し、第 2 のループポート 1 d に入力する際のパルス波形（これは、ファイバセグメント 2 C とループポート 1 d 間の接続を切断して出力を確認した）とファイバループ構成時の出力ポート 1 b からのパルス出力の波形を比較したものである。ファイバセグメント 2 C からの出力パルスは、ファイバループ 2 を構成する 3 つのセグメントを直線的に接続した際の出力パルスと考えられるので、これとファイバループからのパルス出力を比較すると、パルス両裾野のペデスタルノイズがファイバループ構成時において減少していることが分かる。したがって、この光パルス発生器 A_6 では、パルス幅が顕著に圧縮され同時にノイズ除去が行われていることがわかる。

【 0 0 6 2 】

また図 1 4 で示した光ファイバ発生器 A_6 では、ファイバループの入力ポートの前に位置する C D P F を構成するファイバセグメントとして 9 A、9 B、9 C の 3 本の例を示したが、必ずしもこの構成である必要はない。ファイバセグメント 9 A を D S F のファイバセグメントとした場合、ファイバセグメント 9 B、9 C は、次のようなファイバセグメントの接続パターンが考えられる。

1) D S F、S M F

2) S M F、D S F

また、ファイバセグメントの接続パターンは、ファイバセグメント 9 A ~ 9 C の 3 つの組合せに限定されず、更に多数の接続パターンとしてもよい。例えば、ファイバセグメント 9 A を D S F のファイバセグメントとした場合、ファイバセグメント 9 B、9 C . . . 9 N は、下記のような組合せとなる。

1) D S F、S M F、D S F、S M F、D S F

2) D S F、S M F、D S F、S M F

3) S M F、D S F、S M F、D S F

4) S M F、D S F、S M F

【 0 0 6 3 】

【発明の効果】

以上の説明で明らかなように、本発明の光パルス発生器は、パルス幅の圧縮とノイズ成分の除去を同時に達成する光デバイスとなっている。したがって、高速大容量通信システムにおけるパルス信号光源として有用であり、その工業的価値は大である。

【図面の簡単な説明】

【図 1】

本発明の光パルス発生器の基本構成例 A_0 を示す構成図である。

【図 2】

光パルス発生器 A_0 の光ファイバループ (CDPF) 2 の挙動を説明するための説明図である。

【図 3】

式 (7) で示される非線形位相シフト量 ($\Delta \phi$) と出力パルスの入出強度比との関係を示すグラフである。

【図 4】

光パルス発生器 A_0 に入力する入力光パルスの自己相関波形図である。

【図 5】

光パルス発生器 A_0 からの出力光パルスの自己相関波形図である。

【図 6】

本発明の他の光パルス発生器例 A_1 を示す構成図である。

【図 7】

本発明の別の光パルス発生器例 A_4 を示す構成図である。

【図 8】

本発明の更に別の光パルス発生器例 A_5 を示す構成図である。

【図 9】

光パルス発生器 A_5 の強度変調光源 7 で生成させたビート光の自己相関波形図である。

【図 10】

光パルス発生器 A_5 から出力した出力パルスの自己相関波形図である。

【図 1 1】

本発明の光パルス発生器例 A_5' を示す構成図である。

【図 1 2】

本発明の更に別の光パルス発生器例 A_0' を示す構成図である。

【図 1 3】

本発明の更に別の光パルス発生器例 A_5'' を示す構成図である。

【図 1 4】

本発明の更に別の光パルス発生器例 A_6 を示す構成図である。

【図 1 5】

光パルス発生器 A_6 に入力する光パルスの自己相関波形図である。

【図 1 6】

光パルス発生器 A_6 から出力する光パルスの自己相関波形図である。

【図 1 7】

光パルス発生器 A_6 のポート 1 d からの光パルスと、ファイバセグメント 2 C 周回直後の伝搬パルスの自己相関波形図である。

【図 1 8】

従来用いられている N O L M を示す構成図である。

【図 1 9】

従来用いられている N A L M を示す構成図である。

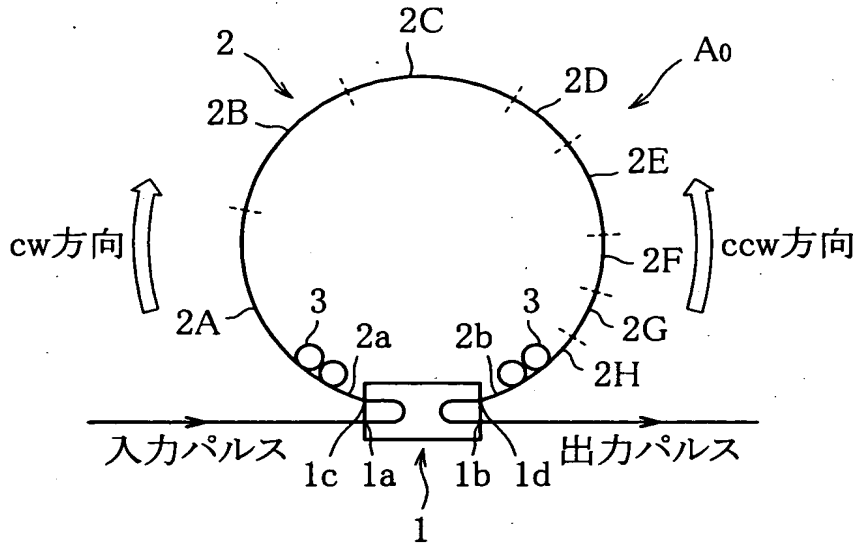
【符号の説明】

- 1 光結合器
- 1 a 入力ポート（第 1 の入出力ポート）
- 1 b 出力ポート（第 2 の入出力ポート）
- 1 c 第 1 のループポート
- 1 d 第 2 のループポート
- 2 C D P F による光ファイバループ（光ファイバ伝送路）
- 2 A ~ 2 H ファイバセグメント
- 3 偏波コントローラ
- 4, 5 E D F A（光増幅器）

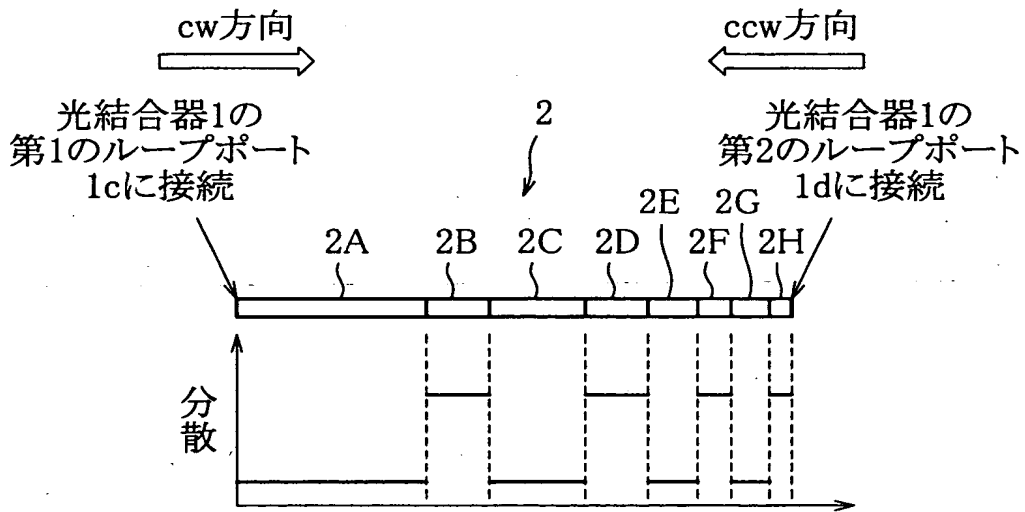
- 6 チャープ補償光ファイバ
- 7 強度変調光源
- 7 a, 7 b 波長可変光源
- 7 c 光結合器
- 7 d 光増幅器
- 7 e 強度変調器
- 7 f 電気信号発生器
- 7 g 強度変調光源内の光アイソレータ
- 7 h, 7 j 1.55 μ m 帯ゼロ分散光ファイバ
- 7 i 1.3 μ m 帯ゼロ分散光ファイバ
- 7 k, 7 l 光源
- 8 光アイソレータ
- 9 CDPF による光ファイバ伝送路
- 9 A, 9 C DSF ファイバセグメント
- 9 B SMF ファイバセグメント

【書類名】 図面

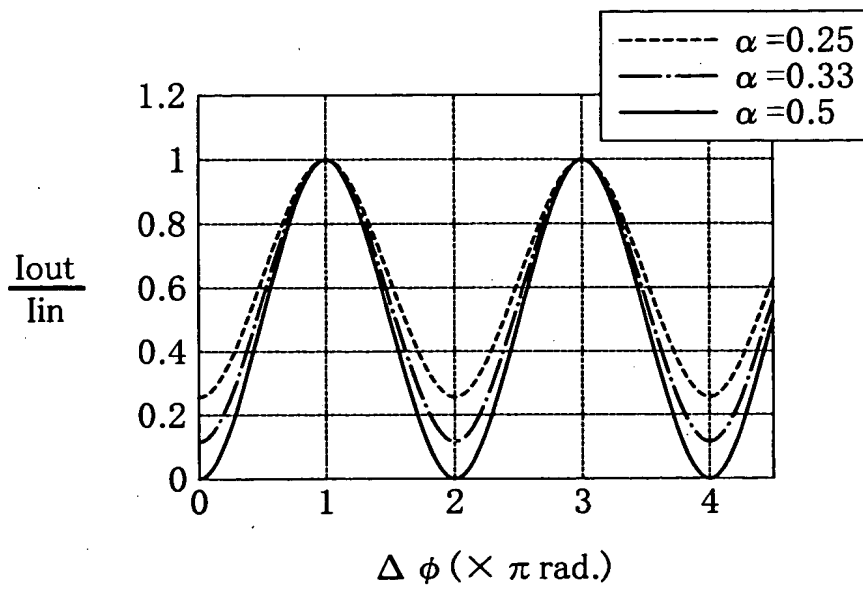
【図1】



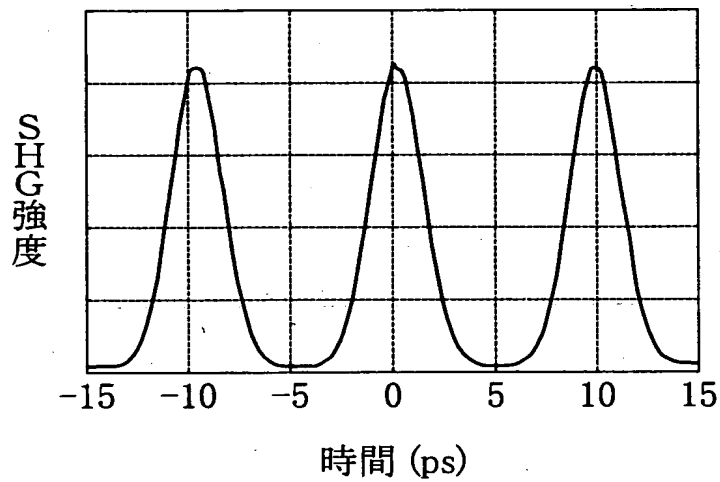
【図2】



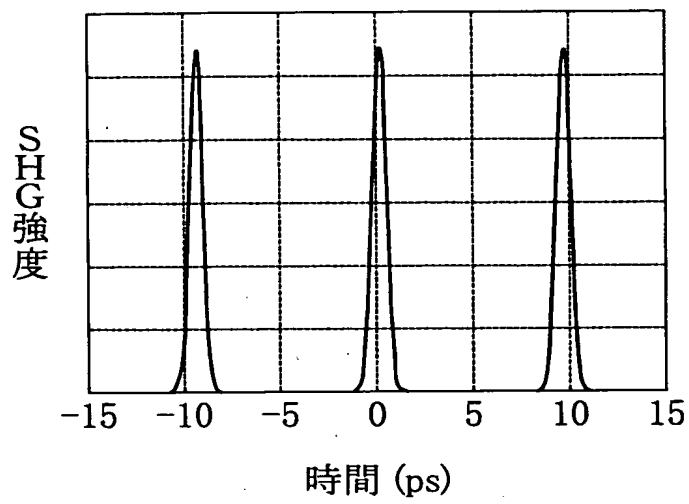
【図 3】



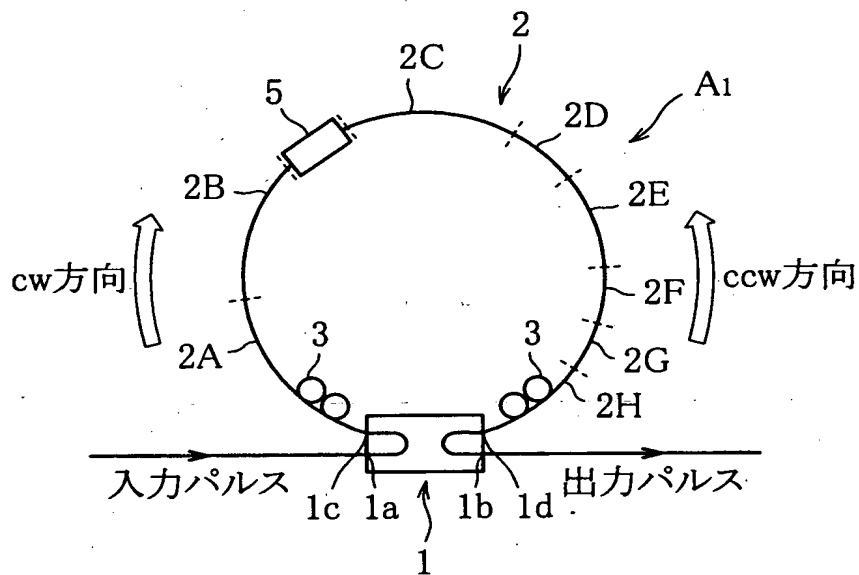
【図 4】



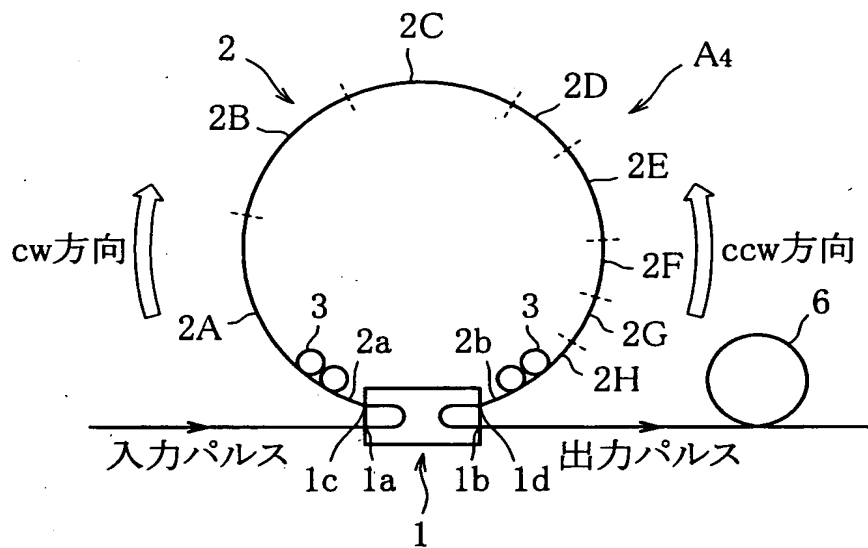
【図5】



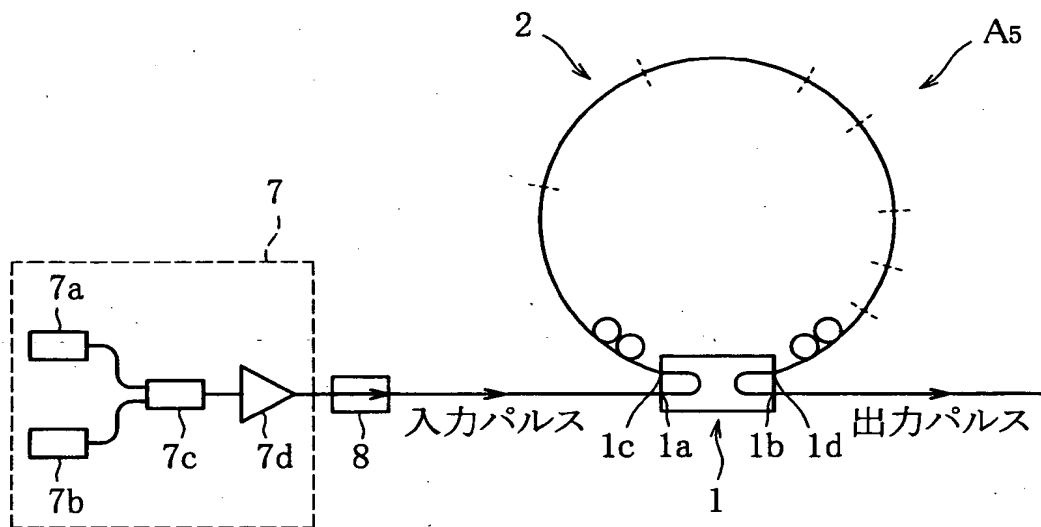
【図6】



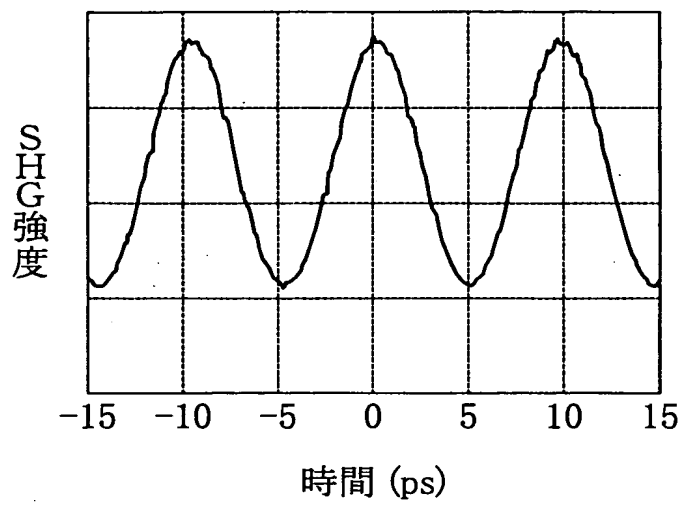
【図7】



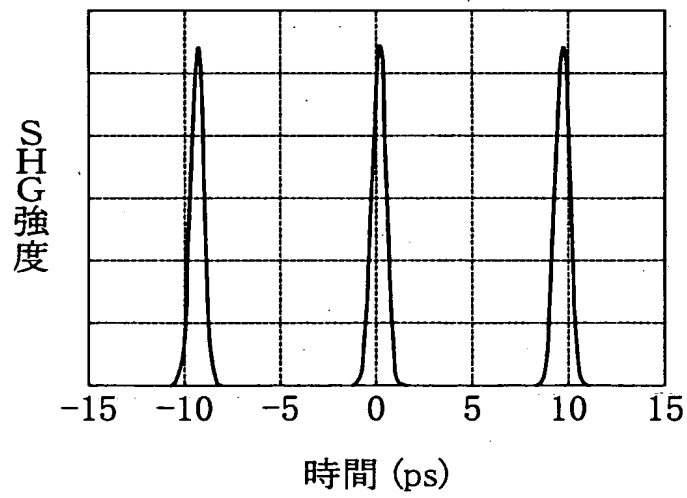
【図8】



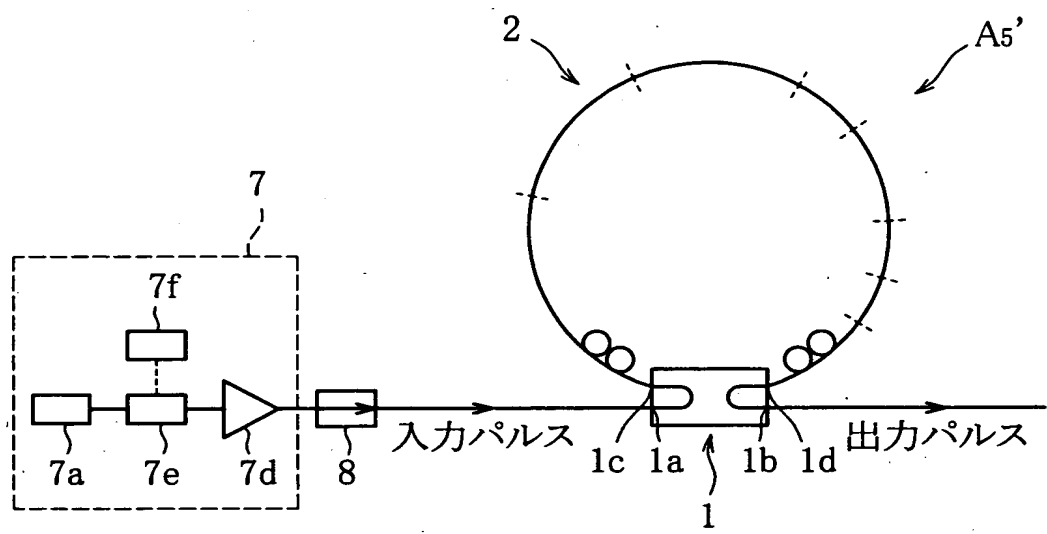
【図 9】



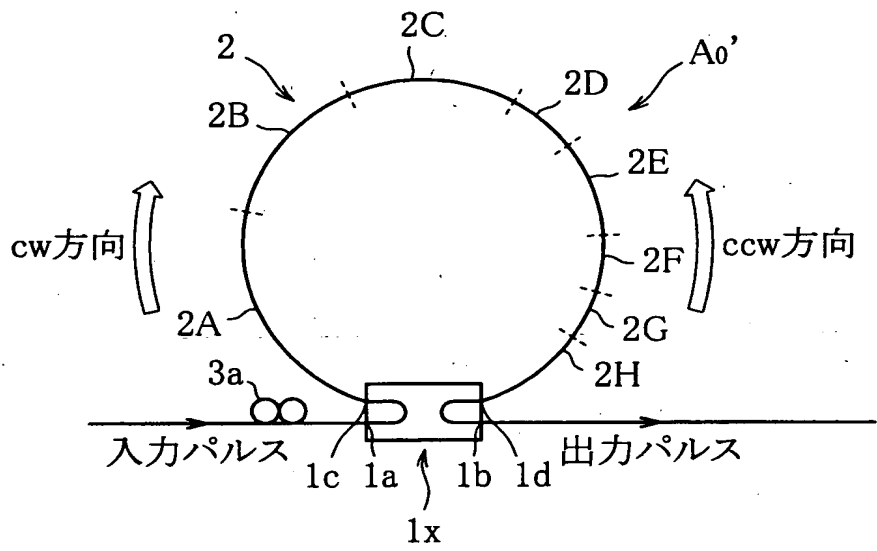
【図 1 0】



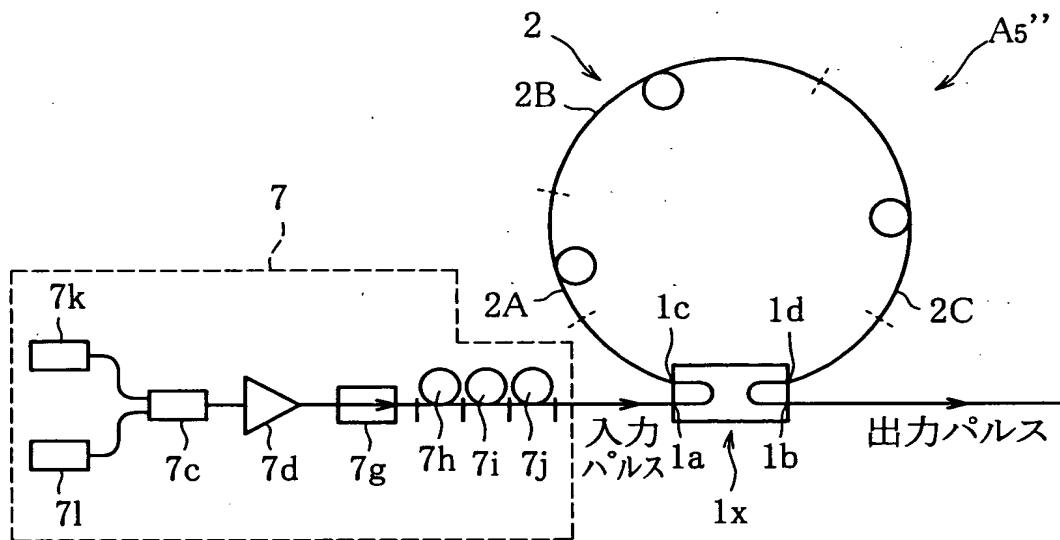
【図 1 1】



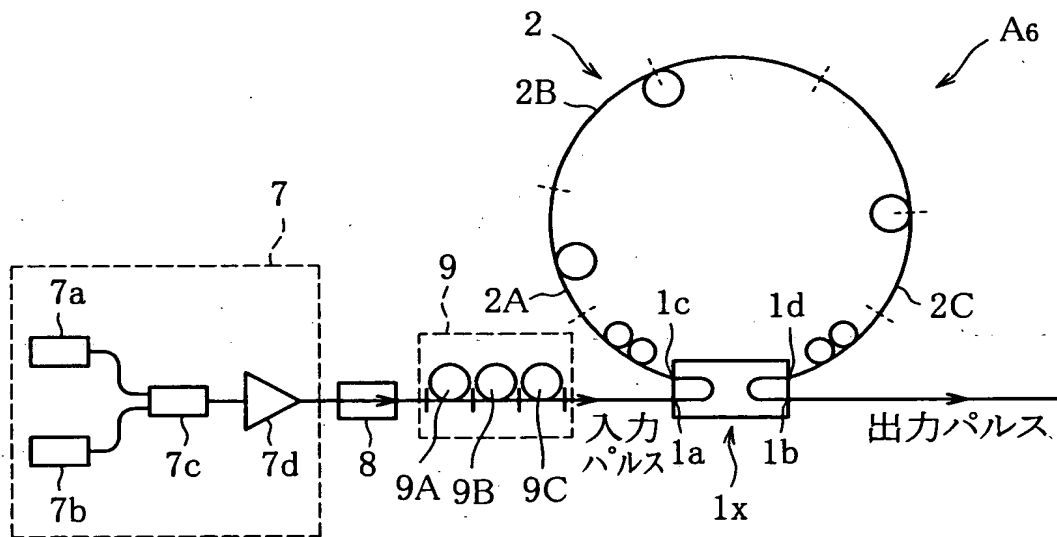
【図 1 2】



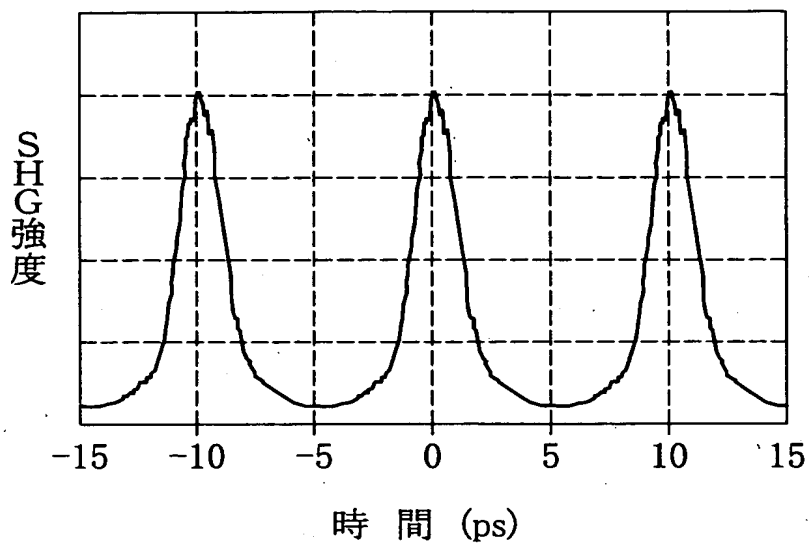
【図 13】



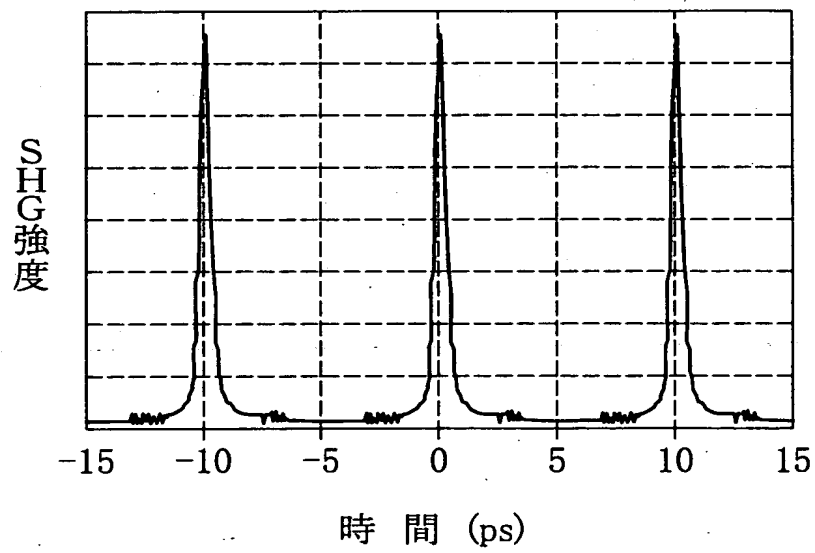
【図 14】



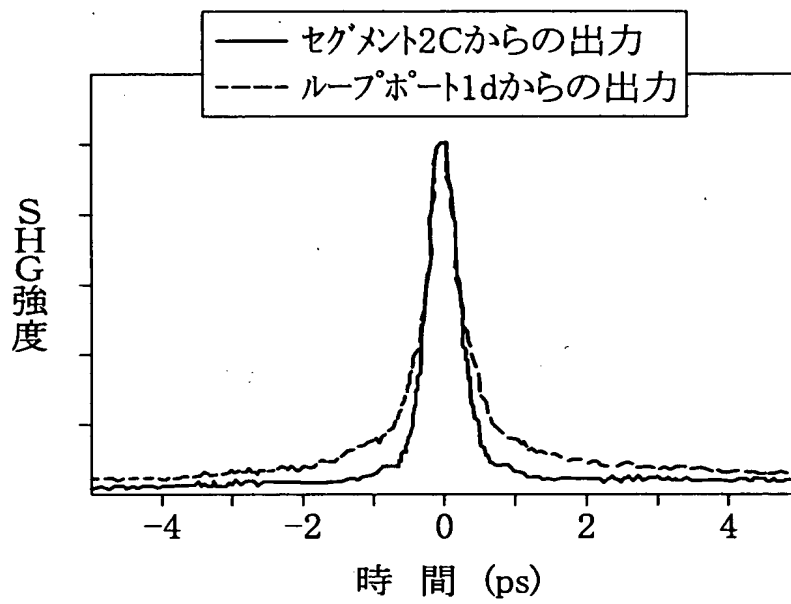
【図 1 5】



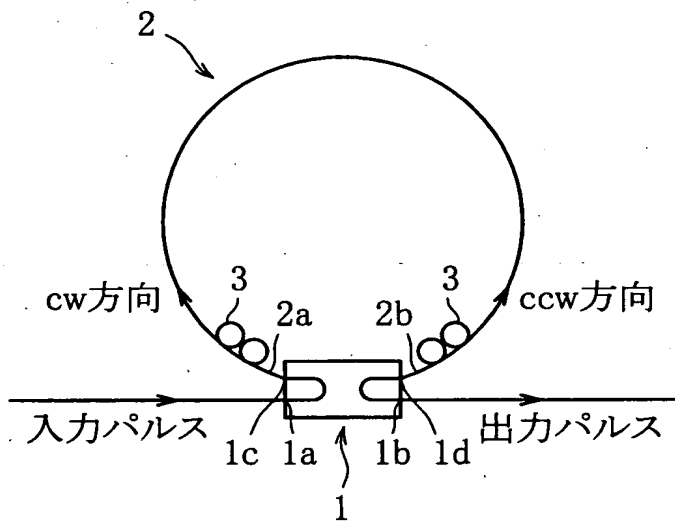
【図 1 6】



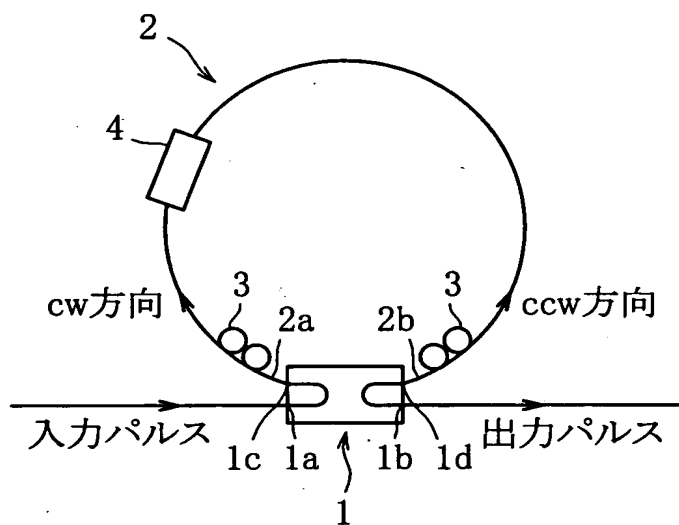
【図17】



【図18】



【図19】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 入力する光パルスのパルス幅の圧縮とノイズ成分の除去を同時に行うことができる光パルス発生器を提供する。

【解決手段】 非線形光学係数と分散特性がそれぞれ異なる少なくとも2種類のファイバセグメント2A～2Hを接続して成る光ファイバ伝送路2と、

第1の入出力ポート1aと第2の入出力ポート1b、および第1のループポート1cと第2ループポート1dを備えている光結合器1とを有し、

光ファイバ伝送路2の一方の端部2aと他方の端部2bは、それぞれ、第1のループポート1cと第2のループポート1dに接続されて、前記光ファイバ伝送路2は光ファイバループを形成しており、入出力ポートの一方1aに入力される入力パルスを光ファイバループ2を逆伝搬する2種類の光パルス成分に分割し、光結合器1に帰還した2種類の光パルス成分のエネルギーを、その相対的な位相に応じて第1の入出力ポート1aと第2の入出力ポート1bの間に分割する光パルス発生器。

【選択図】 図1

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [000005290]

1. 変更年月日	1990年 8月29日
[変更理由]	新規登録
住 所	東京都千代田区丸の内2丁目6番1号
氏 名	古河電気工業株式会社